نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۹، ص. ۶۲۲-۶۰۹

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 3, July-August 2020, p. 609-622

مقاله علمی-پژوهشی

نقش ورمی‌کمپوست در تغییر مؤلفه‌های فیزیکی، شیمیایی، هیدرولیکی و آبشویی یک خاک لومی‌شنی

حسین باقری[۱]- حمید زارع ابیانه[۲]*- عزیزالله ایزدی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۰

چکیده

هدف مطالعه حاضر بررسی اثر ورمی‌کمپوست بر ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی، هیدرولیکی و آبشویی املاح و کلوئیدهای خاک است. به‌منظور اصلاح خاک، ۱/۴۵ درصد وزنی ورمی‌کمپوست با خاک طبیعی مخلوط و ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و هیدرولیکی دو خاک طبیعی و خاک دارای ورمی‌کمپوست تعیین گردید. سپس، ستون‌هایی با طول و قطر ۲۰ و ۵/۹۵ سانتی‌متر تهیه و با ۱۰ سانتی‌متر خاک پر شد تا عمل آبشویی به‌مدت ۲۴ ساعت در حالت اشباع به‌درون آن‌ها انجام شود. محلول‌های خروجی در زمان‌های مختلف جمع‌آوری و مقادیر سدیم، نیترات، کربن آلی محلول، کل املاح محلول (TDS) و کلوئید پس از اندازه‌گیری به صورت تجمعی تا ۶ و ۲۴ ساعت آبشویی محاسبه و مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵٪ انجام شد. ورمی‌کمپوست، از ویژگی‌های شیمیایی ماده آلی، کربن آلی، نیترات قابل استخراج، سدیم محلول، سدیم محلول و تبادلی، EC و TDS را به‌اندازه ۱۲/۴۲، ۱۲/۹، ۱۱۸/۹۶، ۸۰/۴۳، ۴۴/۴۸، ۱۰۹/۴ و ۱۰۹/۴ درصد افزایش و pH را ۲/۳۵ درصد کاهش داد. کاهش ۳/۸۱ درصدی چگالی ظاهری، افزایش ۱/۳۸، ۷/۲۵ و ۵/۶ درصدی تخلخل، هدایت هیدرولیکی و سرعت آب‌حفره‌ای و جابجایی منحنی رطوبتی به سمت رطوبت‌های بیشتر در اطراف نقطه اشباع و پژمردگی دائم از دیگر اثرات ورمی‌کمپوست است. طبق نتایج آبشویی، ورمی‌کمپوست موجب آبشویی معنی‌دار سدیم، نیترات، کربن آلی، TDS و کلوئید خاک در سطح احتمال ۵ درصد و کاهش نرخ آن‌ها در زمان‌های طولانی‌تر شد. علی‌رغم نتایج مثبت کاربرد ورمی‌کمپوست، فرآیند آبشویی۲۴ ساعته به‌سبب خروج تنها ۸ درصد از TDS بخش ورمی‌کمپوست خاک، نقش موثری در کاهش شوری خاک نداشت در حالی که سبب خروج ۴۴/۶ درصد از نیترات ورمی‌کمپوست خاک شد که می‌تواند نگران‌کننده باشد. با توجه به اینکه این مطالعه تنها بر روی یک خاک شنی‌لومی در شرایط آزمایشگاهی انجام شده لذا نتایج آن قابل تعمیم به دیگر خاک‌ها نبوده و برای خاک‌های با بافت متفاوت انجام مجدد این مطالعات توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آبشویی کربن آلی محلول، آبشویی نیترات، آبشویی کلوئید، ضرایب هیدرولیکی خاک، منحنی رطوبتی خاک

مقدمه

ورمی‌کمپوست حاصل فعالیت بیولوژیکی نوعی کرم خاکی است که با تغذیه مواد آلی موجود در طبیعت، کود آلی بیولوژیک برای کشاورزی تولید می‌نماید. این کود با داشتن مقادیر بالای نیتروژن، فسفر و پتاسیم در افزایش کمی و کیفی محصولات و پایداری کشاورزی موثر است (۲۵). نادا و همکاران (۳۳) افزایش ظرفیت نگهداشت آب و مواد غذایی و تخلخل کل خاک را از ویژگی‌های ورمی‌کمپوست برای بهبود خصوصیات ساختمانی خاک می‌دانند. داشتن کلسیم و منیزیم قابل جذب گیاه و رهاسازی تدریجی کربن آلی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم از مزایای زیستی ورمی‌کمپوست است (۳۷ و ۲۸). در مطالعه شته و همکاران (۴۱) نیز آزادسازی کندتر ترکیبات نیتروژنه در ورمی‌کمپوست نسبت به‌سایر کودهای آلی گزارش شده است. میرزائی تختگاهی و قمرنیا (۳۱) ورمی‌کمپوست را به‌علت داشتن ماده آلی و تخلخل زیاد، تهویه و زهکشی مناسب و افزایش سطوح جاذب مواد مغذی خاک توصیه کردند. ماده آلی موجود در ورمی‌کمپوست با هم‌آوری و ثبات رس‌ها به‌ویژه کلوئیدهای خاک از فرسایش عمودی خاک و مهاجرت رس‌ها جلوگیری می‌نماید (۲۸). فانون (۱۷) انتقال عوامل آلاینده منابع آب، توسط کلوئیدها و رس‌ها و بولان و همکاران (۹) خطر آبشویی کربن آلی و تاثیرات آن بر انتقال آفت‌کش‌ها و فلزات سنگین به آب‌های زیرزمینی را گزارش کردند. کانی‌های رسی به‌دلیل برخورداری از سطح ویژه و ظرفیت تبادل

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش‌آموخته دکتری و استاد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
(*- نویسنده مسئول: Email: zare@basu.ac.ir)
۳- محقق پژوهشی منابع آب، مرکز تحقیقات آب، دانشگاه سلطان قابوس، عمان
DOI: 10.22067/jsw.v34i3.80755

کاتیونی بالا، نقش مهمی در ایجاد اشکال پایدار با ماده آلی و تشکیل خاکدانه دارند (۱۵). تاثیرات پایدار ورمی‌کمپوست در مقایسه با کودهای معدنی به‌دلیل مصرف کمتر و استفاده بهینه‌تر توسط گیاه در درازمدت موجب تجمع کمتر نیترات در خاک و کاهش خطر آبشویی به منابع آب زیرزمینی می‌شود. مواد آلی با افزایش ضرایب انتشار و تاخیر یون نیترات سبب تمایل به جذب داخلی در کلوئیدهای خاک و آبشویی کمتر به آب‌های زیرزمینی است (۲۳). تغییر هیدرولیک جریان خاک متاثر از ورمی‌کمپوست شامل افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع و جابه‌جایی منحنی رطوبتی به سمت پتاسیل‌های بیشتر گزارش شده که مبین افزایش معنی‌دار ضریب α و کاهش ضریب n ون‌گنوختن بوده است (۳۴). منحنی رطوبتی خاک و ضرایب آن به‌دلیل وابستگی به اندازه و نحوه توزیع حفرات در توده خاک تا حد زیادی بیان‌کننده رفتار خاک در عبور سیال و توان پخش آلودگی است. مقادیر بزرگ‌تر ضرایب α و n در منحنی رطوبتی مبین هدایت هیدرولیکی بیشتر و افزایش جریان توده‌ای املاح است (۱). نتایج برخی مطالعات نشان داد جابجایی منحنی رطوبتی خاک از طریق تغییر توزیع اندازه حفرات، میزان تخلخل، تعداد خاکدانه‌های درشت و فیزیک ساختمان خاک بر جریان آب در خاک و فعل و انفعالات شیمیایی خاک تاثیر داشته (۲۹ و ۴۲) و سبب توزیع متفاوت آب و املاح درون حفرات شده است (۵۲).

علی‌رغم فواید مذکور و تاثیرات پایدار ورمی‌کمپوست در غنی‌سازی خاک، افزایش شوری خاک جزء مشکلات رایج کاربرد ورمی‌کمپوست است (۲). یاری و همکاران (۵۳) نیز نشان دادند افزودن کمپوست موجب کاهش اندک pH و افزایش معنی دار شوری شد. لذا، استفاده از ورمی‌کمپوست نیاز به ملاحظات آبشویی برای اطمینان از کیفیت خاک و حفظ عملکرد گیاه و ملاحظات زیست محیطی برای بررسی خطر آبشویی نیترات، کربن آلی و کلوئیدهای خاک جهت سلامت منابع آب را ایجاب می‌کند. بنابراین هدف مطالعه حاضر بررسی تاثیر ورمی‌کمپوست بر ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و هیدرولیکی خاک و نقش آن‌ها در آبشویی مقادیر کل املاح محلول، سدیم، نیترات، کربن آلی محلول و کلوئیدهای رسی خاک است.

مواد و روش‌ها

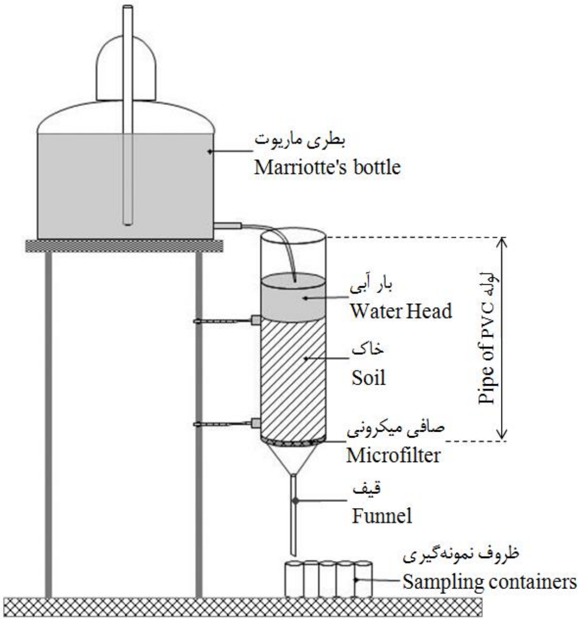
نمونه خاک مورد آزمایش از لایه ۲۰-۰ سانتی‌متری زمین زراعی دانشگاه بوعلی‌سینا در مختصات جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۷/۹۱ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۸/۸۹ دقیقه طول شرقی در ارتفاع ۱۸۶۰ متری از سطح دریا در جنوب غربی شهر همدان برداشت شد. مقدار ۱/۴۵ درصد وزنی ورمی‌کمپوست معادل ۱۷/۶۸ تن در هکتار به ۲۰۰۰ گرم خاک هوا خشک عبوری از الک ۲ میلی‌متری اضافه و به‌طور یکنواخت با آن مخلوط گردید. این مقدار جز محدوده نرخ‌های معمول مصرف ورمی‌کمپوست است (۴۵). بدین ترتیب دو نمونه خاک طبیعی و خاک دارای ورمی‌کمپوست جهت مطالعه آماده گردید. بافت خاک مورد مطالعه براساس درصد اندازه ذرات شن (۵۹/۲ درصد)، سیلت (۲۳/۴ درصد) و رس (۱۷/۴ درصد)، شنی لومی است. ورمی‌کمپوست مورد استفاده حاوی ۰/۰۱۲ درصد نیتروژن محلول، ۱۳۱۰/۸ میلی‌گرم بر لیتر سدیم محلول، ۲۵/۳۱ درصد کربن آلی، ۴۳/۶ درصد ماده آلی، ۴۹۰۲/۱۹ میلی‌گرم بر لیتر TDS، هدایت الکتریکی ۹/۳۴ دسی‌زیمنس بر متر و pH ۷/۵ بوده که مطابق با روش‌های موسسه استانداردها و تحقیقات صنعتی ایران (۲۲) تعیین گردید. مقادیر رطوبت خاک طبیعی و خاک دارای ورمی‌کمپوست در فشارهای مختلف صفر تا ۱۵ کیلوپاسکال به‌وسیله دستگاه صفحات فشاری تعیین و منحنی رطوبتی آن ترسیم شد. شبیه‌سازی منحنی رطوبتی با مدل معلم-ون‌گنوختن طبق رابطه ۱ در محیط برنامه RETC انجام و ضرایب آن تعیین گردید.

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1+(\alpha h)^n)^m} ; m = 1 - 1/n \tag{۱}$$

که در آن، θ_s رطوبت اشباع ($cm^3\ cm^{-3}$)، θ_r رطوبت باقی‌مانده ($cm^3\ cm^{-3}$) و α، n و m ضرایب تجربی است.

در این مطالعه، درصد اندازه ذرات به‌روش هیدرومتر به‌دست آمد و کل رس‌های قابل استخراج در آزمایش هیدرومتری برابر ۱۷۴ گرم بر کیلوگرم خاک بود که به‌عنوان مقدار کلوئید اولیه برای آزمایش‌های آبشویی لحاظ گردید (۱۷). هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به‌روش آزمایشگاهی بار ثابت، چگالی ظاهری به‌روش سیلندر، تخلخل با روش اشباع آب و سرعت آب حفره‌ای از نسبت سرعت دارسی (ظاهری) بر تخلخل خاک برای هر دو نمونه خاک تعیین شد. سرعت دارسی حاصل نسبت دبی جریان ریزشی در ستون بر سطح مقطع ستون خاک است. مقادیر کربن و ماده آلی هر دو نمونه به‌روش والکی-بلک و مقدار نیترات قابل استخراج از نسبت ۱ به ۵ سوسپانسیون خاک به محلول ۲ مولار کلرید پتاسیم با اسپکتوفتومتر مدل Varian, Cary 100 اندازه‌گیری شد. مقدار سدیم محلول و تبادلی از سوسپانسیون خاک به محلول ۱ مولار استات آمونیوم با نسبت ۱ به ۵ و سدیم محلول، EC و pH از نسبت ۱ به ۵ خاک با آب مقطر به‌روش شعله‌سنجی با دستگاه فلیم‌فتومتر مدل عقربه‌ای فاطرالکترونیک، J-405 EC سنج و pH سنج قرائت شد (۱۳). مقدار کل املاح محلول[1] (TDS) بر حسب میلی‌گرم بر لیتر از رابطه 524.86×EC(dS m^{-1}) محاسبه گردید که در آن مقدار ۵۲۴/۸۶ ثابت دستگاه است.

1- Total Dissolved Solute



شکل ۱- شماتیک آبشویی ستون‌های خاک

Figure 1- Schematic view of the soil columns leaching

برای انجام آزمایش‌های آبشویی، ۶ ستون پلی‌وینیل کلراید (PVC) به‌طول ۲۰ سانتی‌متر با قطر داخلی ۵/۹۵ سانتی‌متر تهیه و انتهای آن‌ها جهت جلوگیری از خروج ذرات درشت خاک با توری سیمی، کاغذ صافی ۱۰ میکرونی و بست فلزی تجهیز شد. ستون‌ها پس از آماده‌سازی و پر کردن با ۳۵۰ گرم خاک به‌مدت ۲۴ ساعت در ظرف آب قرار داده تا از پایین به بالا اشباع شوند. سپس جهت شروع عملیات آبشویی، ستون‌ها روی قیف و سه پایه‌های فلزی جای گرفتند. دبی آب ورودی به ستون‌های خاک به کمک بطری ماریوت مشابه شکل (۱) به‌گونه‌ای تنظیم شد که در طی ۲۴ ساعت آبشویی، ارتفاع آب روی سطح هر دو خاک یکسان و ثابت باشد. در نهایت، شدت جریان تغذیه و خروجی برای ستون خاک طبیعی ۲/۶ و برای ستون خاک ورمی‌کمپوست‌دار ۲/۷۹ سانتی‌متر مکعب بر دقیقه شد. مقدار ۱۰ سانتی‌متر از ستون‌ها به خاک و ۱۰ سانتی‌متر به فضای خالی جهت ارتفاع آب آبشویی اختصاص یافت. برای جمع‌آوری زه‌آب خروجی از ستون‌ها، ظروف نمونه‌گیر در پایین قیف قرار داده شدند.

مقدار کلوئید نمونه‌های خروجی زه‌آب از هر ستون در گام‌های زمانی ۲ تا ۱۲۰ دقیقه از ابتدا تا انتهای آزمایش به‌وسیله کدورت‌سنج مدل HANNA Ins., Microprocessor, HI 93703 اندازه‌گیری شد. هم‌چنین مقادیر نیترات، کربن آلی محلول، کل املاح محلول، سدیم محلول و تبادلی هر نمونه آبشویی تعیین گردید. در انتها مقادیر تجمعی کلوئید آبشویی و دیگر مولفه‌های اندازه‌گیری شده از هر ستون برای ۶ ساعت و ۲۴ ساعت محاسبه و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح آماری ۵ درصد انجام شد. کلیه آزمایشات در سه تکرار اجرا گردید.

نتایج و بحث

طبق هدایت الکتریکی ۹/۳۴ دسی‌زیمنس بر متر ورمی‌کمپوست، اعمال ۱۷/۶۷ تن ورمی‌کمپوست در هکتار محدودیتی نداشته ولی نسبت سدیم به کل املاح محلول در ورمی‌کمپوست برابر ۲۶/۷۴ درصد از سطح مجاز ۲۵ درصد بیشتر بوده که به‌لحاظ خطر افزایش سدیم خاک می‌تواند نگران‌کننده باشد (۳۹). خلاصه برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و ضرایب هیدرولیکی خاک طبیعی و خاک دارای ورمی‌کمپوست در جدول ۱ آمده است.

همان‌گونه که از جدول ۱ ملاحظه می‌گردد مقادیر ماده آلی در خاک طبیعی و خاک دارای ورمی‌کمپوست به‌ترتیب ۱/۶۱ و ۱/۸۱ درصد، کربن آلی ۰/۹۳۶ و ۱/۰۵۲ درصد و نیترات ۳۸/۴ و ۸۴/۰۸ میلی‌گرم بر لیتر است. به‌عبارتی افزودن ۱۷/۶۸ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به خاک طبیعی، موجب افزایش ۱۲/۴۲، ۱۲/۴۲ و ۱۱۸/۹۶ درصدی ماده آلی، کربن آلی و نیترات خاک شد. در مطالعه احمدآبادی و همکاران (۲) افزایش غلظت کربن آلی خاک ناشی از افزودن ۲۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و در مطالعه کلیک و همکاران (۱۹) افزایش ماده آلی متاثر از کاربرد بیش از ۱۰ تن در هکتار کمپوست فرآوری‌شده در خاک گزارش شد. افزایش کربن آلی به‌دلیل وجود مواد آلی و تجزیه آن‌ها در اثر فرآیندهای زیستی در ورمی‌کمپوست و افزایش نیترات به‌دلیل لعاب و تراوه‌های نیتروژن‌دار ناشی از فعالیت کرم خاکی است.

جدول ۱- اثر ورمی‌کمپوست بر ویژگی‌های شیمیایی، فیزیک و هیدرولیکی خاک

Table 1- The effect of vermicompost on the soil chemical, physical and hydraulic properties

ویژگی Property	خاک طبیعی Natural soil	خاک دارای ورمی‌کمپوست Vermicompost-containing soil	درصد تغییرات Change percent
ماده آلی (٪) Organic matter (%)	1.61	1.81	12.42
کربن آلی Organic carbon (%)	0.936	1.052	12.42
نیترات قابل استخراج Extractable nitrate (mg l^{-1})	38.4	84.08	118.96
سدیم محلول Soluble sodium (mg l^{-1})	6.03	10.88	80.43
سدیم تبادلی و محلول Exchangeable and soluble sodium (mg l^{-1})	33.32	48.14	44.48
EC (dS m^{-1})	1.27	2.66	109.4
TDS (mgl^{-1})	666.57	1396.13	109.4
pH (–)	8.10	7.91	-2.35
چگالی ظاهری Bulk density (gr cm^{-3})	1.206	1.16	-3.81
تخلخل Porosity (%)	58.7	58.9	1.38
هدایت هیدرولیکی اشباع Saturated hydraulic conductivity (cm min^{-1})	0.069	0.074	7.25
سرعت آب حفره‌ای Pore water velocity (cm min^{-1})	0.215	0.227	5.6
θ_s (cm^3 cm^{-3})	0.579	0.587	1.38
θ_r (cm^3 cm^{-3})	0.114	0.128	12.28
α (cm^{-1})	0.016	0.023	43.75
n (-)	2.417	2.508	3.76

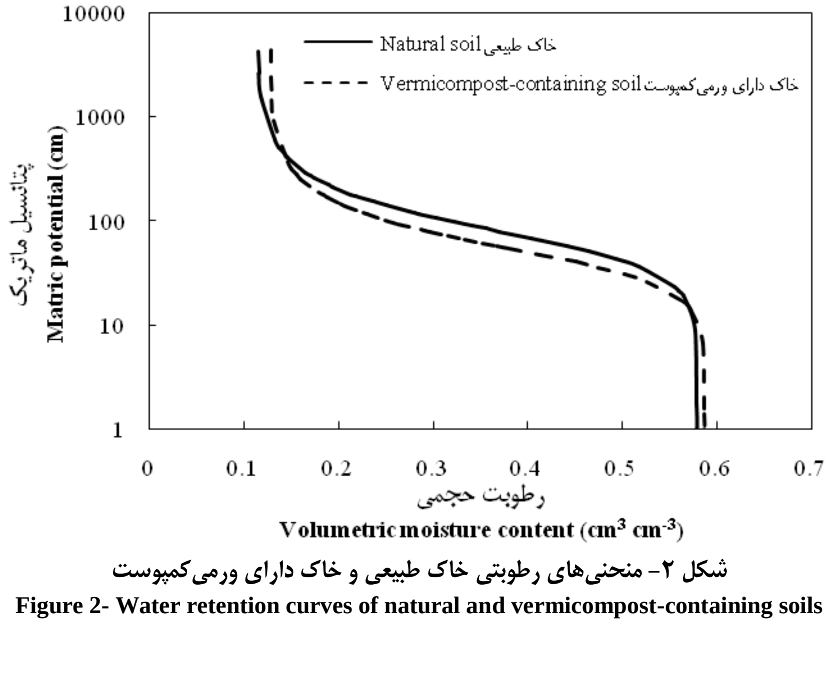
از دیگر نتایج جدول ۱ کاهش ۲/۳۵ درصدی pH از ۸/۱ به ۷/۹۱ در خاک ورمی‌کمپوست‌دار به‌واسطه نیتروژن‌زایی و تولید پروتون بود. کاهش pH فرایندی مهم در حفظ نیتروژن و عدم هدررفت آن از طریق تصعید گاز آمونیاک بوده که متاثر از تولید اسیدهای آلی حاصل از تجزیه ترکیبات آلی و تشکیل H_2CO_3 نشات گرفته از فعالیت میکروبی ورمی‌کمپوست است (۱۱ و ۲۴). ضمنا، با توجه به ماهیت آلی کود ورمی‌کمپوست و حذف مواد آلی طی فرآیند تعیین بافت خاک، کاربرد ورمی‌کمپوست موجب تغییر بافت خاک نشد (۷ و ۱۳).

جدول ۱ نشان می‌دهد مقدار سدیم محلول خاک طبیعی و خاک دارای ورمی‌کمپوست با ۸۰/۴۳ درصد تغییر از ۶/۰۳ میلی‌گرم بر لیتر به ۱۰/۸۸ میلی‌گرم بر لیتر و مجموع سدیم محلول و تبادلی نیز با ۴۴/۴۸ درصد تغییر از ۳۳/۳۲ به ۴۸/۱۴ میلی‌گرم بر لیتر جابجا شد. وجود ۱۳۱۰/۸ میلی‌گرم بر لیتر سدیم در ورمی‌کمپوست و رهاسازی آن به فاز محلول در رقابت با کاتیون‌های چندظرفیتی موجب افزایش سدیم محلول و تبادلی خاک ورمی‌کمپوست‌دار شد (۳۵).

مطابق جدول ۱ مقدار نیترات و EC در خاک طبیعی به‌ترتیب ۳۸/۴ میلی‌گرم در لیتر و ۱/۲۷ دسی‌زیمنس بر متر است که با افزودن ورمی‌کمپوست، به ۸۴/۰۸ میلی‌گرم بر لیتر و ۲/۶۶ دسی‌زیمنس بر متر افزایش یافت. هدایت الکتریکی از پارامترهای مهم در ارزیابی شوری و مقدار یون‌های موجود در محلول اشباع خاک می‌باشد که به‌طور مستقیم با مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها مرتبط است و شاخصی مناسب برای شناسایی مقادیر کل نمک‌ها در عصاره اشباع خاک است. یکی از اثرات فعالیت کرم‌های خاکی در تولید ورمی‌کمپوست افزایش حلالیت و تحرک یون‌های حاصل از تجزیه مواد آلی و فرآیند معدنی شدن آن‌ها است که موجب افزایش هدایت الکتریکی می‌گردد. به‌عبارتی آزادسازی نمک‌های معدنی مانند فسفات، آمونیوم و پتاسیم از طریق ورمی‌کمپوست، موجب افزایش EC، درصد نیتروژن کل و نیترات محلول در خاک شد (۲۳). تجزیه دائمی ورمی‌کمپوست توسط ریزجانداران خاک در گذر زمان سبب رهاسازی مجدد نیترات، سهولت دسترسی ریشه به آن، رشد پیوسته گیاه، کاهش خطر آبشویی نیترات و کاهش آلودگی منابع آب است (۳۰). کاهش چگالی ظاهری خاک به‌میزان ۳/۸۱ درصد و افزایش تخلخل خاک به‌میزان ۱/۳۸ درصد نیز از دیگر تغییرات

ورمی‌کمپوست در خاک بود (جدول ۱). چگالی پایین ورمی‌کمپوست در کوتاه‌مدت به‌سبب افزایش درصد منافذ خاک و در بلندمدت با تاثیر بر دانه‌بندی خاکدانه‌ها موجب کاهش چگالی ظاهری خاک می‌شود. کاهش چگالی ظاهری خاک به‌واسطه افزودن ورمی‌کمپوست در مطالعات میرزایی تختگاهی و قمرنیا (۳۱)، افزایش تخلخل خاک به‌علت درجه تورم بیشتر ورمی‌کمپوست و افزایش تخلخل موئین خاک حاوی ورمی‌کمپوست نسبت به خاک طبیعی در مطالعه حقیقت و همکاران (۲۰) آمده است. رابطه منفی بین مواد آلی با چگالی به‌دلیل فرآیندهای مختلف رقیق‌سازی، خاکدانه‌سازی و اختلاط مواد آلی با ماتریس خاک می‌باشد (۴۳). از دیگر اثرات ورمی‌کمپوست، افزایش ۷/۲۵ درصدی هدایت هیدرولیکی اشباع و ۵/۶ درصدی سرعت آب‌حفره‌ای است (جدول ۱). کاهش چگالی ظاهری و افزایش تخلخل ناشی از افزودن ورمی‌کمپوست، موجب تعدد حفرات، درشت شدن مجاری و افزایش توان انتقال هیدرولیکی خاک شد.

از نتایج دیگر کاربرد ورمی‌کمپوست مطابق جدول ۱، افزایش ضرایب منحنی رطوبتی ون‌گنوختن شامل θ_S، θ_r، α و n به‌میزان ۱/۳۸، ۱۲/۲۸، ۴۳/۷۵ و ۳/۷۶ درصد بود. افزایش در ضرایب θ_r و α بیشتر و در ضرایب θ_S و n کمتر است. افزایش θ_S در خاک دارای ورمی‌کمپوست سبب ظرفیت بیشتر انتقال آب و املاح خاک در حالت اشباع است. اضافه شدن رطوبت معادل اشباع (θ_S) و باقی‌مانده (θ_r) در خاک دارای ورمی‌کمپوست، به‌دلیل ازدیاد مقدار کربن آلی و تشکیل ژل‌های حاصل از تجزیه بقایای آلی و ترشحات میکروبی می‌باشد (۲۰). ضمن آن‌که تغییرات افزایشی در اندازه ذرات خاک، اندازه خلل و فرج و خاکدانه‌سازی نیز سبب افزایش رطوبت در حالت اشباع و باقی‌مانده است. امامی و آستارایی (۱۶) ضمن موثر دانستن اصلاح‌کننده‌های آلی بر ضریب θ_S، تغییر ویژگی‌های ساختمانی خاک را دلیل افزایش آن عنوان کردند. تغییرات بیشتر θ_r نسبت به θ_S نشان‌دهنده تاثیرپذیری بیشتر θ_r از افزایش کسر کربن و ماده آلی خاک به‌واسطه دارا بودن سطح ویژه زیاد و افزایش تخلخل ریز خاک است (۵). افزایش قابل ملاحظه α ناشی از افزایش تخلخل به‌ویژه تخلخل درشت و افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع بوده که عامل تغییرات منحنی رطوبتی در رطوبت‌های اطراف نقطه ورود هوا به خاک و تخلیه سریع‌تر رطوبت در حفرات درشت خاک دارای ورمی‌کمپوست است. در این راستا، ورورت و همکاران (۴۶) ارتباط مستقیم بین هدایت هیدرولیکی اشباع و α و اصغری و همکاران (۶) تاثیرپذیری مستقیم α از منافذ درشت خاک را گزارش کردند. ضریب n مبین شیب منحنی رطوبتی خاک بوده و نزدیکی n خاک طبیعی به خاک ورمی‌کمپوست‌دار بیان‌گر مشابهت شیب منحنی‌ها به‌ازای تغییرات شدید در بازه پتانسیل ۱۵ سانتی‌متر تا ۴۵۰ سانتی‌متر است. علی‌رغم وجود تشابه در شیب منحنی‌های رطوبتی، نتیجه افزایش اندک ضریب n در خاک دارای ورمی‌کمپوست، تشدید فعل و انفعالات شیمیایی خاک و بهبود فیزیک ساختمان خاک جهت انتقال و جابجایی مواد درون آن است (۲۴ و ۵۲). سوگیتا و گیلهام (۴۴) افزایش انتشار و پخشیدگی املاح درون حفرات را به‌واسطه تغییر اندازه و تنوع حفرات خاک گزارش نمودند. در همین راستا منحنی رطوبتی مربوط به هر دو نمونه خاک براساس مدل ون‌گنوختن در محیط نرم‌افزار RETC ترسیم و در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- منحنی‌های رطوبتی خاک طبیعی و خاک دارای ورمی‌کمپوست

Figure 2- Water retention curves of natural and vermicompost-containing soils

مطابق مشاهدات شکل ۲، منحنی‌های رطوبتی هر دو خاک یکدیگر را در دو مکش ۱۵/۵ و ۴۴۵ سانتی‌متر به‌گونه‌ای قطع نمودند که میزان رطوبت خاک دارای ورمی‌کمپوست در دو بازه نقطه اشباع تا مکش ۱۵/۵ سانتی‌متر و بازه مکش ۴۴۵ تا ۱۵۰۰۰ بیش از خاک طبیعی و در محدوده مکش ۱۵/۵ تا ۴۴۵ سانتی‌متر کمتر از خاک طبیعی است. منحنی رطوبتی خاک دارای ورمی‌کمپوست در مکش‌های کم یا نزدیک حالت اشباع با وابستگی به خصوصیات ساختمانی خاک تحت تاثیر کاهش چگالی ظاهری و افزایش تخلخل بوده که ضمن افزایش ظرفیت آب‌پذیری سبب جابجایی آن به سمت رطوبت‌های بیشتر شد (۱ و ۱۲). در مقابل در مکش‌های زیاد منحنی رطوبتی به خصوصیات ذاتی خاک وابسته بوده و افزایش سطح ویژه خاک متاثر از افزایش ماده آلی ورمی‌کمپوست تا ۱/۸۱ درصد، موجب افزایش نگهداشت رطوبت شد (۳۲). کاهش رطوبت خاک دارای ورمی‌کمپوست در بازه ۱۵/۵ تا ۴۴۵ سانتی‌متر نشان‌دهنده افزایش α و n، تاثیر فزونی تخلخل درشت بر تخلیه سریع‌تر رطوبت خاک و بهبود وضعیت زهکشی و هوادهی خاک است. ضمن اینکه کاهش قدرت نگهداری رطوبت در این بازه جز معایب کاربرد ورمی‌کمپوست در خاک‌های سبک بافت از جمله خاک مورد مطالعه است. طبق نتایج ممدوف و همکاران (۲۹) و ویلسون و همکاران (۵۰) افزایش ضریب α متاثر از درشت شدن خاکدانه‌ها و حفرات سبب افزایش آبشویی است. در این حالت مقدار مکش لازم برای ورود هوا به توده خاک کاهش می‌یابد که بیان‌گر بزرگ شدن اندازه حفرات توده خاک است. به‌عبارت دیگر با بزرگ‌تر شدن شعاع حفرات خاک و تعدد آن‌ها که جابجایی منحنی رطوبتی گواه این موضوع است ارتباط موثر بین حفرات افزایش یافته و در نتیجه مکش‌های پایین‌تری برای تخلیه رطوبت این حفرات لازم است (۳۸). در مجموع منحنی رطوبتی خاک ورمی‌کمپوست‌دار در مقابل منحنی خاک طبیعی این واقعیت را نشان می‌دهد که با افزودن ورمی‌کمپوست هم‌گرایی ذرات خاک بیشتر و به‌تبع اندازه حفرات بزرگ‌تری حاصل شده است. لذا مقدار مکش کمتری برای تخلیه رطوبت حفرات بزرگ‌تر متناظر با خاک طبیعی لازم است. به‌گونه‌ای که شکل ۲ نشان می‌دهد نقطه ورود هوا به خاک طبیعی و خاک دارای ورمی‌کمپوست به‌ترتیب در مکش‌های ۴/۵۲ و ۳/۴۷ سانتی‌متر رخ داده است. هم‌چنین، برای تخلیه رطوبت اشباع تا مقدار ۰/۲ سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب، نیرویی معادل پتانسیل ماتریک ۲۰۲ سانتی‌متر در خاک طبیعی و ۱۵۰ سانتی‌متر در خاک ورمی‌کمپوست‌دار لازم است. ضمنا، در مکش‌های بیش از ۲۰۰۰ سانتی‌متر، مقدار رطوبت باقی‌مانده در خاک طبیعی ۰/۱۱۶ سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب و در خاک ورمی‌کمپوست‌دار ۰/۱۲۹ است که نشان‌دهنده نگهداشت بیشتر رطوبت در این بازه ناشی از تغییر ماهیت فیزیکی-شیمیایی خاک به‌واسطه مواد آلی ورمی‌کمپوست است. از دیگر نتایج شکل ۲ افزایش میزان رطوبت نزدیک به اشباع در خاک ورمی‌کمپوست‌دار نسبت به خاک معمولی است که نشانه افزایش ظرفیت پذیرش رطوبت است. به‌طور کلی نتایج حاصل از تغییرات منحنی رطوبتی خاک ورمی‌کمپوست‌دار گواه افزایش تخلخل درشت ناشی از افزایش ظرفیت نقطه اشباع و کاهش پتانسیل نقطه ورود هوا به خاک و افزایش تخلخل ریز به‌دلیل افزایش ظرفیت رطوبت باقیمانده است. ضمن آن‌که، هدایت هیدرولیکی بیشتر خاک ورمی‌کمپوست‌دار نیز افزایش حجم تخلخل درشت موثر را تایید می‌کند (جدول ۱).

در آخرین مرحله نتایج آبشویی املاح هر دو خاک به‌صورت تجمعی پس از ۶ ساعت و ۲۴ ساعت اندازه‌گیری، ضمن مقایسه میانگین‌ها در سطح آماری ۵ درصد در قالب جدول شماره ۲ تنظیم گردید.

از جدول ۲ ملاحظه می‌گردد بیشترین مقدار تجمعی مولفه‌های آبشویی در هر دو خاک پس از ۶ و ۲۴ ساعت مربوط به مولفه کل املاح محلول خاک با نمایه TDS است. بررسی آبشویی TDS در جدول ۲ نشان داد طی ۶ و ۲۴ ساعت از خاک طبیعی ۲۴۰/۹ و ۶۵۵/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم برابر ۷/۲۳ و ۱۹/۶۷ درصد و از خاک دارای ورمی‌کمپوست ۴۹۱/۴ و ۹۴۶/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم معادل ۷/۰۴ و ۱۳/۵۶ درصد آبشویی شد. هم‌چنین، نرخ آبشویی TDS طی ۶ و ۲۴ ساعت در خاک طبیعی به‌ترتیب ۰/۶۷ و ۰/۴۶ میلی‌گرم بر دقیقه و در خاک دارای ورمی‌کمپوست ۱/۳۶ و ۰/۶۶ است که ورمی‌کمپوست آن را به‌طور معنی‌داری تا ۲/۰۳ و ۱/۴۳ برابر افزایش داد. بدین ترتیب، ورمی‌کمپوست مقادیر آبشویی املاح خاک را به‌علت مقدار TDS اولیه بالاتر (جدول ۱) به‌طور معنی‌داری افزایش و درصد آبشویی آن را نسبت به مقدار اولیه خاک ورمی‌کمپوست‌دار (جدول ۱) در ۶ و ۲۴ ساعت به ۷/۰۴ و ۱۳/۵۶ درصد کاهش داد، به‌گونه‌ای که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری بین درصد آبشویی ۶ ساعته دو خاک وجود نداشت. بخشی از کل املاح محلول در ترکیبات ورمی‌کمپوست، انواع کاتیون‌های چندظرفیتی بوده که به‌مقدار کم آبشویی شده و عامل آبشویی کاتیون‌های تک‌ظرفیتی و کاهش غلظت کل املاح در محلول آبشویی است (۳۵). فزونی سطوح جاذب به‌واسطه افزایش ماده آلی خاک و افزایش تخلخل ریز در کاربرد ورمی‌کمپوست سبب نگهداشت املاح به‌ویژه کاتیون‌های چندظرفیتی در خاک است (۵). در این راستا، وبر و همکاران (۴۹) اثر ماده آلی در برقراری ارتباط بین ماتریکس خاک و املاح واکنشی را دلیل آبشویی کمتر آن‌ها دانستند. با این وجود، انتظار می‌رود در گذر زمان، تجزیه مواد آلی ورمی‌کمپوست توسط ریزجانداران و اثرات کلات کنندگی آن موجب افزایش املاح قابل حل درون خاک و محلول‌های آبشویی گردد (۴۰).

جدول ۲- اثر ورمی‌کمپوست بر آبشویی ٦ و ٢٤ ساعته املاح خاک طبیعی و خاک دارای ورمی‌کمپوست
Table 2- The effect of vermicompost on the 6 and 24-hrs solute leaching of natural and vermicompost-containing soils

مولفه Parameter	خاک Soil	مدت آبشویی Leaching duration (hr)	مقدار آبشویی Leaching amount (mg Kg^{-1})	درصد آبشویی Leaching percent (%)	متوسط نرخ آبشویی Leaching rate mean (mg min^{-1})
کل املاح محلول Total dissolved solute	خاک طبیعی Natural soil	6	240.9^{d}	7.23^{c}	0.67^{b}
		24	655.6^{b}	19.67^{a}	0.46^{c}
	خاک دارای ورمی‌کمپوست Vermicompost-containing soil	6	491.4^{c}	7.04^{c}	1.36^{a}
		24	946.3^{a}	13.56^{b}	0.66^{b}
سدیم محلول و تبادلی Exchangeable and soluble sodium	خاک طبیعی Natural soil	6	11.84^{b}	7.11^{b}	0.033^{bc}
		24	15.69^{b}	9.42^{b}	0.011^{c}
	خاک دارای ورمی‌کمپوست Vermicompost-containing soil	6	65.22^{a}	27.10^{a}	0.18^{a}
		24	72.16^{a}	29.98^{a}	0.05^{b}
نیترات Nitrate	خاک طبیعی Natural soil	6	20.08^{d}	10.46^{d}	0.056^{c}
		24	44.48^{c}	23.17^{c}	0.031^{d}
	خاک دارای ورمی‌کمپوست Vermicompost-containing soil	6	116.71^{b}	27.76^{b}	0.324^{a}
		24	146.26^{a}	34.79^{a}	0.102^{b}
کربن آلی محلول Dissolved organic carbon	خاک طبیعی Natural soil	6	23.2^{d}	0.25^{d}	0.064^{b}
		24	58.34^{b}	0.62^{b}	0.041^{c}
	خاک دارای ورمی‌کمپوست Vermicompost-containing soil	6	47.68^{c}	0.47^{c}	0.138^{a}
		24	95.11^{a}	0.90^{a}	0.066^{b}
کلوئید Colloid	خاک طبیعی Natural soil	6	15.11^{c}	0.009^{c}	0.042^{b}
		24	29.39^{b}	0.017^{b}	0.02^{d}
	خاک دارای ورمی‌کمپوست Vermicompost-containing soil	6	24.86^{b}	0.014^{b}	0.069^{a}
		24	41.97^{a}	0.024^{a}	0.029^{c}

میانگین‌های با حروف متفاوت برای هر مولفه آبشویی در سطح آماری ۰/۰۵، با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند.
Means with dissimilar letters for each of leaching parameters have significant differences at the statistical level 0.05.

طبق جدول ۱، ورمی‌کمپوست مقدار ۷۲۹/۵۶ میلی‌گرم بر لیتر نمک (TDS) معادل ۳۶۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم را به خاک افزود. درحالی‌که، با انجام آبشویی طی ۲۴ ساعت، تنها ۱۰/۴ درصد آن از خاک خارج شد. لذا، توصیه می‌شود با توجه به نوع خاک، نرخ مصرف ورمی‌کمپوست کاهش یافته و یا روش‌های آبشویی مدیریت شده برای تعدیل شوری خاک جهت کشت گیاهان اعمال گردد.

مطابق جدول ۲، کمترین مقدار مولفه آبشویی تجمعی طی زمان‌های ۶ و ۲۴ ساعت به سدیم محلول و تبادلی به مقادیر ۱۱/۸۴ و ۱۵/۶۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم از خاک طبیعی معادل ۷/۱۱ و ۹/۴۲ درصد و مقادیر ۶۵/۲۲ و ۷۲/۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم از خاک دارای ورمی‌کمپوست معادل ۲۷/۱۰ و ۲۹/۹۸ درصد تعلق دارد. بنابراین مقدار آبشویی سدیم طی ۶ و ۲۴ ساعت به‌ترتیب تا ۴۵۰/۸ و ۳۶۰ درصد از خاک دارای ورمی‌کمپوست به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که نشان‌دهنده خروج ۷۲ و ۷۶/۲ درصدی سدیم محلول و تبادلی از ساختار ورمی‌کمپوست است. مقایسه آماری نرخ آبشویی سدیم دو خاک نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار طی ۶ و ۲۴ ساعت آبشویی و در نتیجه تسریع آبشویی سدیم در خاک دارای ورمی‌کمپوست است. خروج کم سدیم و نرخ پایین آبشویی آن در خاک طبیعی وابسته به شوری کم خاک (جدول ۱) و کمی نسبی کاتیون‌های چندظرفیتی در رقابت با سدیم، جهت جذب در مکان‌های تبادلی است. مقدار و نرخ آبشویی زیاد سدیم در خاک دارای ورمی‌کمپوست به‌علت حضور مقادیر سدیم، TDS زیاد، کاتیون‌های چند ظرفیتی کلسیم، منیزیم و آهن در ورمی‌کمپوست بوده که به‌موجب تبادل کاتیونی با سدیم در سطوح تبادلی سبب رهاسازی آن به محلول آب‌خاک و آبشویی بیشتر شد (۳۵). در همین راستا، نتایج نادا و همکاران (۳۳) نشان‌دهنده افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک متاثر از کاربرد ورمی‌کمپوست

بوده که با جذب بیشتر کاتیون‌های کلسیم و منیزیم منجر به واجذب سدیم شد. افزایش هدایت هیدرولیکی و جریان توده‌ای انتقال املاح و کاهش pH در خاک دارای ورمی‌کمپوست (جدول ۱) از عوامل تسهیل‌کننده آبشویی سدیم است (۱۵). در عین حال عدم آبشویی سدیم افزوده شده به خاک و تجمع آن می‌تواند مشکلاتی در فیزیک ساختمان خاک و کاهش خاکدانه‌ها ایجاد نماید که جزء مضرات ورمی‌کمپوست می‌باشد (۲۹).

مقادیر و نرخ آبشویی نیترات در جدول ۲ آمده است. مطابق آن طی ۶ و ۲۴ ساعت از خاک طبیعی ۲۰/۰۸ و ۴۴/۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیترات برابر ۱۰/۴۶ و ۲۳/۲ درصد با نرخ ۰/۰۵۶ و ۰/۰۳۱ میلی‌گرم بر دقیقه و از خاک دارای ورمی‌کمپوست ۱۱۶/۷۱ و ۱۴۶/۲۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم برابر ۲۷/۷۶ و ۳۴/۷۹ درصد با نرخ ۰/۳۲۴ و ۰/۱۰۲ میلی‌گرم بر دقیقه آبشویی شد. لذا، مقدار، درصد و متوسط نرخ آبشویی طی هر دو زمان ۶ و ۲۴ ساعت در خاک دارای ورمی‌کمپوست به‌طور معنی‌داری نسبت به خاک طبیعی بیشتر بود. ضمن آن‌که از خاک دارای ورمی‌کمپوست در مقایسه با خاک طبیعی طی ۶ و ۲۴ ساعت ۳۹۶/۴ و ۲۰۵/۵ درصد نیترات بیشتر خارج گردید. وجود ترکیبات نیتروژنه در ورمی‌کمپوست موجب تغلیظ نیترات خروجی و افزایش هدایت هیدرولیکی و سرعت آب‌حفره‌ای ناشی از ورمی‌کمپوست سبب افزایش جریان توده‌ای و تسریع آبشویی شد (جدول ۱). با توجه به اهمیت بیشتر ردیابی نیترات در مطالعات آب و خاک به‌جهت حفظ حاصل‌خیزی خاک و کنترل درجه آلایندگی منابع آب و خاک، تعیین کسر آبشویی نیترات از دانه‌های ورمی‌کمپوست موجود در خاک ضروری است. لذا، در خاک ورمی‌کمپوست‌دار، طی ۶ و ۲۴ ساعت به‌ترتیب ۹۳/۲ و ۱۰۱/۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم معادل ۴۰/۸۱ و ۴۴/۵۶ درصد از نیترات قابل استخراج ورمی‌کمپوست آبشویی شده و ۱۳۵/۲ و ۱۲۶/۶۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم برابر ۵۹/۱۹ و ۵۵/۴۴ درصد آن در خاک تثبیت شد. در حالی‌که طبق مطالعه باقری و زارع ابیانه (۷)، در آبشویی کود شیمیایی نیتراته با غلظت ۶۲ میلی‌گرم بر لیتر، تنها ۰/۳۴ میلی‌گرم نیترات در هر کیلوگرم خاک نگهداشته شد. این مقدار بر اساس مطالعه حمدی و همکاران (۲۱) برابر ۰/۰۲-۰/۰۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. علی‌رغم واکنش ناچیز نیترات با ماتریکس خاک، تثبت نیترات در خاک ورمی‌کمپوست‌دار را می‌توان ناشی از نقش مواد آلی ورمی‌کمپوست و پیوندهای شیمیایی اولیه نیترات با آن دانست. کفیل و همکاران (۲۳) بیان کردند هر چه میزان مواد آلی خاک بالاتر باشد، مقدار یون بیشتری می‌تواند جذب خاک شود و به‌همین دلیل، در زمان مساوی درصد کمتری از یون نیترات آبشویی می‌شود. به‌علاوه، طی آبشویی در زمان‌های طولانی‌تر، کاهش مقدار املاح محلول خاک، موجب قطور شدن لایه پخشیدگی دوگانه اطراف کلوئیدها ناشی از وجود بار مثبت در لایه‌های درونی آن‌ها شده و بر نگهداشت یون‌های با بار منفی نیترات و کاهش آبشویی آن موثر است. هم‌چنین، آزادسازی زمان‌بر مقادیر حبسی نیترات باقی‌مانده در بخش ریزدانه خاک، تحرک کمتر آن متاثر از مواد آلی خاک و جذب موقتی آن در رقابت با دیگر آنیون‌های افزایش یافته خاک از عوامل دیگر کاهش آبشویی نیترات است (۸ و ۳۶).

از دیگر نتایج مطالعه حاضر طبق جدول ۲، تغییرات آبشویی کربن آلی محلول خاک است. مقادیر آبشویی کربن آلی محلول طی ۶ و ۲۴ ساعت از خاک طبیعی ۲۳/۲ و ۵۸/۳۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم معادل ۰/۲۵ و ۰/۶۲ درصد و از خاک دارای ورمی‌کمپوست ۴۷/۶۸ و ۹۵/۱۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم معادل ۰/۴۷ و ۰/۹ درصد است. ورمی‌کمپوست طی ۶ و ۲۴ ساعت نرخ آبشویی کربن آلی را به‌ترتیب تا ۰/۱۳۸ و ۰/۰۶۶ میلی‌گرم بر لیتر به‌طور معنی‌داری افزایش داده و منجر به خروج ۷۵/۲ و ۵۷/۹ درصد کربن آلی بیشتر شد که بیان‌گر تفاوت معنی‌دار با مقادیر آبشویی از خاک طبیعی است. مقدار ماده آلی و کربن آلی اضافه شده به خاک و افزایش تخلخل و هدایت هیدرولیکی متاثر از کاربرد ورمی‌کمپوست (جدول ۱) از عوامل افزایش غلظت و نرخ آبشویی کربن آلی خاک بوده که در راستای مطالعه آرانکن و همکاران (۳) است. مقایسه آبشویی ۶ و ۲۴ ساعته نشان‌دهنده خروج مقدار قابل توجهی از کربن آلی پس از ۶ ساعت ابتدایی نسبت به نیترات و سدیم است (جدول ۲). وجود کسر زیادی از کربن در ساختمان جامد مواد آلی خاک، نیاز به زمان جهت تولید کربن آلی محلول از مواد آلی، وابستگی حرکت آن به ذرات معدنی دارای بار از قبیل اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم و تاثیرپذیری جذبی آن از کاتیون‌های چندظرفیتی کلسیم و آلومینیوم از عوامل زمان‌بر بودن آبشویی کربن آلی محلول است (۴ و ۱۸).

از معایب عمل آبشویی، مهاجرت عمودی رس‌ها و کلوئیدهای خاک به‌عنوان سطوح نگهدارنده مواد مغذی بوده که نتایج آن در جدول ۲ آمده است. طی ۶ و ۲۴ ساعت آبشویی از خاک طبیعی ۱۵/۱۱ و ۲۹/۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم کلوئید برابر ۰/۰۰۹ و ۰/۰۱۷ درصد و از خاک دارای ورمی‌کمپوست ۲۴/۸۶ و ۴۱/۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم معادل ۰/۰۱۴ و ۰/۰۲۴ درصد آبشویی شد. لذا، ورمی‌کمپوست طی ۶ و ۲۴ ساعت سبب خروج ۶۴/۵ و ۴۲/۸ درصد کلوئید بیشتر با نرخ آبشویی ۰/۰۶۹ و ۰/۰۲۸ میلی‌گرم بر دقیقه گردید. طبق جدول ۲، اختلاف مقدار، درصد و نرخ آبشویی ۶ و ۲۴ ساعته رس‌ها بین خاک طبیعی و خاک دارای ورمی‌کمپوست معنی‌دار بوده که ناشی از افزایش دافعه کلوئید-کلوئید و کلوئید- سطوح دانه‌های خاک دارای ورمی‌کمپوست متاثر از تولید بیشتر کربن آلی محلول و تشکیل اسیدهای آلی و افزایش رقابت آن‌ها با کلوئید جهت جذب در مکان‌های جذبی است (۴۷). در این راستا، به‌علاوه، افزایش تخلخل و هدایت هیدرولیکی خاک دارای ورمی‌کمپوست سبب افزایش پتانسیل جابجایی کلوئیدهای با قطر بزرگتر، افزایش غلظت سدیم سبب پخشیدگی، آزادسازی و دفع آن‌ها و افزایش سرعت

آب‌خاک موجب انتقال و آبشویی بیشتر کلوئیدها شد (۱۰، ۲۷ و ۴۸). آبشویی بیشتر کلوئیدها در آبیاری‌های اولیه به‌علت ساختمان دست‌خورده خاک، وجود خاکدانه‌های ضعیف و شکننده به‌خصوص در خاک‌های درشت بافت و اثر پخش‌کنندگی سدیم رخ داده و تشکیل خاکدانه‌های قوی و بزرگ‌تر در گذر زمان متاثر از پیوندهای آلی–معدنی و کاهش سدیم طی آبشویی منجر به ثبات کلوئید خواهد شد.

علی‌رغم تاثیر مستقیم TDS، سدیم، نیترات و مواد آلی بالاتر خاک دارای ورمی‌کمپوست بر آبشویی بیشتر آن‌ها، افزایش تخلخل، ظرفیت رطوبت اشباع (θ_s) و هدایت هیدرولیکی اشباع به‌علت تاثیر بر جریان توده‌ای و تسریع تغییرات گرادیان املاح بین منافذ خاک در ابتدای آبشویی، سبب افزایش مقادیر مولفه‌های آبشویی شد. به‌علاوه ضرایب α و n بیشتر در منحنی رطوبتی خاک ورمی‌کمپوست‌دار نشان‌دهنده انتقال سریع‌تر رطوبت و املاح در بخش بیشتری از منافذ خاک بوده که از عوامل افزایش مقدار آبشویی است. نتایج عباسی (۱) گواه توان بیشتر انتقال مواد درون حفرات خاک دارای α بزرگ‌تر است. در این راستا نتایج برخی مطالعات بیان‌گر افزایش انتقال املاح و فعل و انفعالات شیمیایی در خاک با ضرایب α و n بزرگ‌تر است (۵۱، ۲۹ و ۲۶).

از دیگر جنبه‌های مورد بررسی جدول ۲، مقایسه آماری مقدار درصد و نرخ آبشویی املاح طی ۶ و ۲۴ ساعت برای هر خاک است. بر این اساس، اختلاف مقدار و درصد آبشویی بین ۶ و ۲۴ ساعت در هر دو خاک برای TDS، نیترات، کربن آلی محلول و کلوئید معنی‌دار و برای سدیم بی‌معنی است. آزادسازی سریع‌تر سدیم ناشی از تبادلات و دفع کاتیونی درون محلول خاک و زمان‌بر بودن دفع کربن آلی ناشی از نیاز به تولید آن درون خاک و وابستگی تحرک آن به ذرات معدنی خاک، نیترات به‌علت رهاسازی تاخیری از ترکیبات آلی، کلوئید متاثر از تغییرات زمان‌بر قدرت یونی و مقدار املاح خاک طی آبشویی و TDS به‌سبب دربرداشتن کل املاح محلول خاک شامل کاتیون‌های چندظرفیتی با تحرک‌پذیری کمتر است. اختلاف آماری نرخ آبشویی بین ۶ و ۲۴ ساعت تنها برای سدیم در خاک طبیعی غیرمعنی‌دار و در دیگر موارد معنی‌دار بود.

از نگاه دیگر، نسبت مقادیر مولفه‌های آبشویی ۶ به ۲۴ ساعته در خاک طبیعی و خاک ورمی‌کمپوست‌دار به‌ترتیب، ۳۶/۷ و ۵۱/۹ درصد برای TDS، ۷۵/۵ و ۹۰/۴ درصد برای سدیم، ۴۵/۱ و ۸۰ درصد برای نیترات، ۳۹/۸ و ۵۰ درصد برای کربن آلی محلول و ۵۱/۴ و ۵۹/۲ درصد برای کلوئید است (جدول ۲). این نسبت برای خاک دارای ورمی‌کمپوست بیشتر از خاک طبیعی بوده که نشان‌دهنده آبشویی بیشتر در ۶ ساعت ابتدایی نسبت به ۱۸ ساعت بعدی در خاک ورمی‌کمپوست‌دار است. این تغییرات به‌علت فعالیت مجاری درشت خاک دارای ورمی‌کمپوست در افزایش جریان توده‌ای ناشی از تخلخل و هدایت هیدرولیکی بیشتر بوده که بر آبشویی در زمان‌های ابتدایی موثر واقع شده و خروج املاح باقیمانده با اثرگذاری فرآیندهای پخشیدگی و انتشار و نقش جذبی مواد آلی زمان‌بر است. این نتیجه مشابه نتایج چاگنتی و همکاران (۱۴) مبنی بر خروج بیشتر املاح از خاک رسی‌لومی اصلاح‌شده با کودهای آلی در زمان‌های کوتاه‌تر است. به‌نظر می‌رسد این پیآمد متاثر از اثرات شویندگی زیاد جبهه پیشروی اولیه باشد. وجود املاح بیشتر در خاک دارای‌ورمی کمپوست موجب گردید تا مطابق مطالعه یانگ و همکاران (۵۱)، شدت فرآیندهای واجذب نسبت به جذب طی عمل آبشویی افزایش یابد. گفتنی است تغییر درجه ناهمگنی خاک متاثر از کاربرد اصلاح‌کننده نیز از دلایل تغییر شدت فرآیندهای جذب/واجذب است (۵۵). نتایج مطالعه ژانگ و سلیم (۵۴) نیز تغییرات زیاد آزادسازی املاح دو خاک شنی‌لومی و سیلتی در زمان کوتاه و رهاسازی کم آن در زمان‌های طولانی متاثر از فرآیند پخشیدگی را تایید نمود. در همین راستا، سوگیتا و گیلیهام (۴۴) بیان کردند تغییرات اندازه و تنوع حفرات خاک از دلایل افزایش انتشار و پخشیدگی املاح درون خاک است.

نتیجه‌گیری

هدف مطالعه حاضر بررسی اثر ورمی‌کمپوست در تغییر برخی ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و هیدرولیکی یک خاک شنی‌لومی و نقش آن در آبشویی شوری، سدیم، نیترات، کربن آلی محلول و کلوئیدهای خاک است. ورمی‌کمپوست ویژگی‌های شیمیایی خاک شامل ماده آلی، کربن آلی، نیترات قابل استخراج، سدیم محلول، سدیم تبادلی، EC و TDS را افزایش و pH را کاهش داد. در این راستا حضور املاح زیاد از قبیل سدیم، نیترات و وجود مواد آلی بالا در ترکیبات ورمی‌کمپوست دلیل این تغییرات است. آزاد شدن اسیدهای آلی متاثر از ورمی‌کمپوست، تشکیل H_2CO_3 به‌واسطه هوموسی شدن و تجزیه مواد آلی توسط ریزجانداران عامل کاهش pH خاک است. کاهش اندک چگالی ظاهری و تخلخل به‌علت مدت زمان کم آزمایش و عدم خاکدانه‌سازی در خاک درشت بافت از دیگر پیامدهای افزودن ورمی‌کمپوست بوده که با تعدد و قطور شدن لوله‌های موئین خاک موجب بیشتر شدن هدایت هیدرولیکی اشباع و سرعت حرکت آب‌حفره‌ای شد. ورمی‌کمپوست عامل افزایش ضرایب هیدرولیکی θ_s، θ_r، α، n و جابجایی منحنی رطوبتی به سمت رطوبت‌های بیشتر در مکش‌های کم به‌علت افزایش تخلخل و در مکش‌های زیاد به‌دلیل افزایش ماده آلی، سطوح جذب و تخلخل ریز است. نتایج آبشویی املاح نشان داد مقادیر معنی‌داری از سدیم، نیترات، کربن آلی، TDS و کلوئید از خاک دارای ورمی‌کمپوست نسبت به خاک طبیعی به‌علت داشتن املاح قابل حل زیاد و هدایت هیدرولیکی بیشتر خارج شد. این اصلاح‌کننده با افزایش سدیم خاک سبب پخشیدگی کلوئیدها و با افزایش تخلخل سبب آبشویی بیشتر آن‌ها در مدت آزمایش گردید.

علی‌رغم، افزایش ۱۰۹/۴ درصدی TDS خاک متاثر از ورمی‌کمپوست، تنها ۸ درصد آن طی ۲۴ ساعت آبشویی مداوم از خاک خارج شد. در حالی‌که این مقدار برای آبشویی سدیم و نیترات قابل استخراج در ورمی‌کمپوست به‌ترتیب برابر ۷۶/۲ و ۴۴/۶ درصد است که نشان‌دهنده تاثیرپذیری کم شوری خاک در مقابل فرآیند آبشویی است. از این‌رو، کاربرد ورمی‌کمپوست با افزایش کربن آلی و نیترات سبب حاصل‌خیزی خاک و با افزایش هدایت الکتریکی سبب مشکل شوری شده که نیازمند تغییر روش‌های آبشویی، اصلاح ورمی‌کمپوست قبل از مصرف و کاهش نرخ اعمال ورمی‌کمپوست جهت حفظ کیفیت خاک و جلوگیری از خطر احتمالی آلودگی منابع آب با نیترات است. با توجه به اینکه این مطالعه تنها بر روی یک خاک شنی‌لومی در شرایط آزمایشگاهی انجام شده لذا نتایج آن قابلیت تعمیم به دیگر خاک‌ها در شرایط متفاوت را ندارد. بنابراین توصیه می‌گردد برای خاک‌های با بافت متفاوت نیز این قبیل مطالعات انجام گردد.

منابع

1- Abbasi F. 2007. Advanced soil physics. First edition, Tehran University Press. (In Persian)

2- Ahmadabadi Z., Ghajar Sepanlou M., and Rahimi Alashti S. 2012. Effect of Vermicompost on Physical and Chemical Properties of Soil. Journal of Water and Soil Science 15(58): 125-137. (In Persian)

3- Arancon N.Q., Edwards C.A., and Bierman P. 2006. Influences of vermicomposts on field strawberries: part 2. Effects on soil microbiological and chemical properties. Bioresource Technology, 97: 831–840.

4- Arnarson T.S., and Keil R.G. 2000. Mechanisms of pore water organic matter adsorption tomontmorillonite. Marine Chemistry 71: 309–320.

5- Asghari S., Neyshabouri M.R., Abbasi F., Aliasgharzad N., and Oustan S. 2009. The effects of four organic soil conditioners on aggregate stability, pore size distribution and respiration activity in a sandy loam soil. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 33: 47–55.

6- Asghari Sh., Abbasi F., Neyshabouri M.R., Oustsan Sh., and Aliasgharzad N. 2011. Effects of Four Organic Soil Conditioners on Some Hydraulic and Solute Transport Parameters in a Sandy Loam Soil. Journal of Water and Soil Conservation 18(2): 177-195. (In Persian)

7- Bagheri H., and Zare Abyaneh H. 2018. Simulation of nitrate and sodium transport in soil treatment with vermicompost under different irrigation regimes. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 11(5): 888-899. (In Persian with English abstract)

8- Bhatnagar A., Ji M., Choi Y., Jung W., Lee S., and Kim S.S. 2008. Removal of nitrate from water by adsorption onto zinc chloride treated activated carbon. Separation Science and Technology 43(4): 886-907.

9- Bolan N.S., Adriano D.C., Kunhikrishnan A., James T., Mcdowell R., and Senesi, N. 2011. Dissolved organic matter: biogeochemistry, dynamics, and environmental significance in soils. Advances in Agronomy 110: 1–75.

10- Bradford S.A., Yates S.R., Bettahar M., and Simunek J. 2002. Physical factors affecting the transport and fate of colloids in saturated porous media. Water Resource Research 38(12): 1-12.

11- Brady N.C., and Weil R.R. 2001. The nature and properties of soils. Prentice Hall.

12- Bybordi M. 2004. Principles of Irrigation Engineering. First edition, Tehran University. (In Persian)

13- Carter M., and Gregorich E. 2008. Soil Sampling and Methods of Analysis. 2nd ed. London: CRC Press, Taylor and Francis Group.

14- Chaganti V.N., Crohn D.M., and Simunek J. 2015. Leaching and reclamation of a biochar and compost amended saline–sodic soil with moderate SAR reclaimed water. Agricultural Water Management 158: 255-265.

15- Denef K., and Six J. 2005. Clay mineralogy determines the importance of biological versus abiotic processes for macroaggregate formation and stabilization. European Journal of Soil Science 56: 469-479.

16- Emami H., and Astaraei A.R. 2012. Effect of organic and inorganic amendments on parameters of water retention curve, bulk density and aggregate diameter of a saline-sodic Soil. Journal of Agricultural Science and Technology 14: 1625-1636.

17- Fanun M. 2014. The role of colloidal systems in environmental protection. Amsterdam, Elsevier.

18- Feng X., Simpson A.J., and Simpson M.J. 2005. Chemical and mineralogical controls on humic acid sorption to clay mineral surfaces. Organic Geochemistry 36: 1553–1566.

19- Gelik I., Ortas I., and Kilik S. 2004. Effect of compost, Mycorhiza, Mnure and fertilizer on some physical properties of Chromoxerert soil. Soil and Tillage Research 78: 59-67.

20- Haghighat N., Mohammadi Torkashvand A., and Pazira E. 2017. Effect of natural and artificial moisture absorbents on delay of permanent wilting point coefficient. Journal of Water and Soil Resource Conservation 6(2): 31-43. (In Persian).

21- Hamdi W., Gamaoun F., Pelster D.E., and Seffen M. 2013. Nitrate Sorption in an Agricultural Soil Profile. Applied and Environmental Soil Science, Article ID 597824: 1-7.

22- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. 2010. Compost - Sampling and physical and chemical test methods. No. 13320, 1st ed. Iran. (In Persian)

23- Kafil M., Moazed H., and Moradzadeh M. 2018. Simulation of nitrate and ammonium ions leaching in a sandy loam soil using analytical and numerical models. Journal of Water and Soil Conservation 25(3): 255-267.
24- Kharrazi M., Unesi H., and Abedini J. 2013. Effect of corn waste blended with cow dung and pape on vermicompost qualities using Eisenia fetida. Agronomy Journal 103: 179-191. (In Persian)
25- Khosravi A., Zarei M., and Ronaghi A.M. 2017. Effect of Claroideoglomus etunicatum, vermicompost and phosphate sources on root colonization and growth of lettuce. Journal of Soil Management and Sustainable Production 7(2): 167-181. (In Persian with English abstract)
26- Kleimeier C., Rezanezhad F., van Cappellen P., and Lennartz B. 2017.Influence of pore structure on solute transport in degraded and undegraded fen peat soils. Mires and Peat 19(18): 1–9.
27- Levy G.J., and Torrento J.R. 1995. Clay dispersion and macro aggregate stability as affected by exchangeable potassium and sodium. Soil Science 160(5): 352-358.
28- Lim S.L., Wu T.Y., Lim P.N., Yee P., and Shak K. 2014. The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics. Journal of the Science of Food and Agriculture 95.6: 1143-1156.
29- Mamedov A.I., Ekberli I., Gülser C., Gümüş I., Çetin U., and Levy G.L. 2016. Relationship between soil water retention model parameters and structure stability. Eurasian Journal of Soil Science 5(4): 314-321.
30- Masciandaro G., Macci C., Doni S., and Ceccanti B. 2010. Use of earthworms (*Eisenia fetida*) to reduce phytotoxicity and promote humification of pre-composted olive oil mill wastewater. Journal of the Science of Food and Agriculture 90: 1879–1885.
31- Mirzaei-Takhtgahi H., and Ghamarnia H. 2017. The concurrent effect of Vermicompost and unconventional water on soil physical properties. Journal of Water and Irrigation Management 7(2): 197-210. (In Persian with English abstract)
32- Mirzakhani R. 2003. Introduction to Soil Physics. University Publication Center. (In Persian)
33- Nada W.M., Van Brensburg L., Claassens S., and Blumenstein O. 2011. Effect of Vermicompost on Soil and Plant Properties of Coal Spoil in the Lusatian Region (Eastern Germany). Communications in Soil Science and Plant Analysis 42: 1945–1957.
34- Naghavi H., Hajabbasi M.A., and Afuni M. 2005. Effect of cattle manure on some physical properties, hydraulic parameters and bromide transport of a sandy loam soil in Kerman. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 9(3): 93-103. (In Persian with English abstract)
35- Oo A.N., Iwai C.B., and Saenjan P. 2013. Soil properties and maize growth in saline and nonsaline soils using cassava–industrial waste compost and vermicompost with or without earthworms. Land Degradation and Development 26: 300-310.
36- Panuccio M.R., Muscolo A., and Nardi S. 2001. Effect of humic substances on nitrogen uptake and assimilation in two species of pinus. Journal of Plant Nutrition 24(4-5): 693-704.
37- Prabha M.L. 2009. Waste management by vermitechnology. Indian Journal Of Environmental Protection, 29: 795-800
38- Rakhshandehroo G., and Eslami Haghighat A. 2008. Evaluating soil-water characteristic curve based on local porosity theory. Journal of Water and Wastewater 19(2): 67-76. (In Persian with English abstract).
39- Samavat S., Tehrani M.M., Bazargan K., and Basirat M. 2014. Manual of how to check organic fertilizers. Technical report 46316, Soil and Water Research Institute. (In Persian)
40- Sharma R.C., and Banik P. 2014. Vermicompost and fertilizer application: Effect on productivity and profitability of baby corn (*Zea mays* L.) and soil health. Compost Science & Utilization 22: 83-92.
41- Shete M.B., Chaudhary S.M., and Warade S.D. 1993. A note on use of fym and vermicompost on yield of white onion cv phule safed. Allium Improvement Newsletter 3: 36-38.
42- Siller W.S., Fredlund D.G., and Zakerzadeh N. 2001. Mathematical attributes of some soil water characteristic curve models. Geotechnical and Geological Engineering 19: 243-283.
43- Soane B.D. 1990. The role of organic matter in soil compactibility: A review. Soil and Tillage Research 16(1-2): 179-201.
44- Sugita F., and Giliham R.W. 1993. effect of pore-size variation in a porous medium on reactive solute transport. Tracers in Hydrology 171-177.
45- Tajodini M., Jalali V.R., and Sarcheshmehpoor, M. 2015. The effect of different sizes and amounts of vermicompost on seedlings characteristics of grain maize (SC704). Cereal Research 5(3): 289-300. (In Persian with English abstract)
46- Vervoort R.W., Radcliffe D.E., and West L.T. 1999. Soil structure development and preferential solute flow. Water Resources Research 35: 913-928.
47- Walshe G.E., Pang L., Flury M., Close M.E., and Flintoft M. 2010. Effects of pH, ionic strength, dissolved organic matter, and flow rate on the co-transport of MS2 bacteriophages with kaolinite in gravel aquifer media. Water Research, 44: 1255–1269.
48- Wang Z., Zhang W., Li S., Zhou J., and Liu D. 2016. Transport of Silica Colloid through Saturated Porous Media under Different Hydrogeochemical and Hydrodynamic Conditions Considering Managed Aquifer Recharge. Water

8(555): 1-14.
49- Weber J.B., Warren R.L., Swain L.R., and Yelverton F.H. 2007. Physicochemical property effects of three herbicides and three soils on herbicide mobility in field lysimeters. Crop Protection 26(3): 299–311.
50- Wilson G.V., Tyler D.D., Logan J., and Turnage K. 1991. Tillage and cover crop effects on nitrate leaching. In Cover Crops for Clean Water, ed. Hargrove W.L. Ankeny, IA: Soil Water Conservation Society.
51- Yang Y., Liang Y., You Y., Ding Z., Dang, Z., and Shi, Z. 2019. Predicting Kinetics of As(V) Adsorption and Desorption on Mixed Minerals of Ferrihydrite and δ-MnO. Soil Science Society of America Journal 83(2): 348.
52- Yang Y., Liu P., Zhang W., Liu Z., Sun H., Zhang LK., Zhao J., Song W., Liu L., An S., and Yao J. 2016. Effect of the Pore Size Distribution on the Displacement Efficiency of Multiphase Flow in Porous Media. Journal of Natural Gas Science and Engineering 14: 610–616.
53- Yari M., Rahimi Gh., Moradi S., Ebrahimi E., and Sadeghi, S. 2016. Effect of Municipal Solid Waste Compost Application on the Fractions of Various Heavy Metals in Three Soil Textures. Soil Research 30(3): 329-341. (In Persian with English abstract).
54- Zhang H., and Selim H. 2005. Kinetics of arsenate adsorption–desorption in soils. Environmental Science and Technology 39(16): 6101-8.
55- Zhang J., and Stanforth R. 2005. Slow Adsorption Reaction between Arsenic Species and Goethite (α-FeOOH): Diffusion or Heterogeneous Surface Reaction Control. Langmuir 21(7): 2895–2901.

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 3, July-August 2020, p. 609-622

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۹، ص. ۶۲۲-۶۰۹

The Role of Vermicompost on the Change of Physical, Chemical, Hydraulic and Leaching Components of a Sandy Loam Soil

H. Bagheri[1]- H. Zare Abyaneh[2*]- A. Izady[3]
Received: 12-06-2019
Accepted: 30-05-2020

Introduction: Vermicompost is a type of biological organic fertilizer obtained from earthworm activity. Vermicompost is used in sustainable agriculture due to its beneficial effects on diversity of plant nutrients and physical-hydraulic modification of soil. However, high presence of solutes in the structure of vermicompost causes soil salinity, increases soil sodium content and changes soil pH. Soil flushing is one of the well known strategies to minimize the mentioned disadvantages of vermicomposting. Although flushing can reduce the soil salinity and sodium content, it leads to transportation of some soil substances such as nitrate, dissolved organic carbon and colloids which their tracing is necessary because of soil quality monitoring and possibility of water resources pollution. The objective of the current study was to investigate the effects of vermicomposting on soil chemical, physical and hydraulic properties and its role on the amount of soil total dissolved salts (TDS), sodium, nitrate, dissolved organic carbon and leaching behavior of colloids.

Materials and Methods: To treat the soil, 1.45 weight percent of vermicompost (17.68 tones/hectare) was mixed with regular soil. Physical, chemical and hydraulic properties of soil were determined. PVC columns with length of 20 cm and internal diameter of 5.95 cm were used and filled with soil to perform leaching during 24 hrs in saturated condition experiment. The effluent of columns were collected at various interval times, and their sodium, nitrate, dissolved organic carbon, TDS and colloid contents were measured and the cumulative amounts of them were calculated at 6 and 24 hrs. All experiments were carried out in three replications, and the mean comparison of leaching parameters was done according to Duncan's multiple range test at probability level of 5%.

Results: Vermicompost increased the studied soil chemical properties i.e, organic matter, organic carbon, extractable nitrate, soluble sodium, soluble and exchangeable sodium, EC and TDS to 12.42, 12.9, 118.96, 80.43, 44.48, 109.4 and 109.4 %, respectively and decreased soil pH to 2.35 %. Soil bulk density reduction to 3.81 % and enhancement of soil porosity, saturated hydraulic conductivity and the pore water velocity to 1.38, 7.25 and 5.6 %, respectively are the other results of vermicompost application. The used vermicompost fertilizer caused displacement of soil water retention curve to more moisture around of saturated and permanent wilting points and reduction of air entry potential. In this regard, vermicomposting increased all of soil hydraulic coefficients of van Genuchten model including θr, θs, α and n, and its effect was specially more on θr and α. The result of leaching experiments showed that the amounts of leached TDS, sodium, nitrate, dissolved organic carbon and colloid in vermicompost-containing soil during 6 hrs were 491.4, 65.22, 116.71, 47.68 and 24.86, and during 24 hrs were 946.3, 72.16, 146.26, 95.11 and 41.97 mg/Kg, respectively. For the natural soil, these amounts during 6 hrs were 240.9, 11.84, 20.08, 23.2 and 15.11, and during 24 hrs were 665.6, 15.69, 44.48, 58.34 and 29.39 mg/Kg, respectively. Therefore, vermicompost significantly increased the amounts of leached TDS, sodium, nitrate, dissolved organic carbon and colloid, because of containing more contents of solute, sodium, nitrate and organic matter in its structure. It also increased the porosity and hydraulic conductivity of soil, and made changes in soil water retention curve ($P<0.05$). The presence of more sodium in vermicompost together with its effect on soil porosity enhancement increased the colloid dispersion and consequently its leaching. In addition, the leaching rate of all of parameters at 24 hrs in comparison to 6 hrs decreased significantly due to high amount of solute leaching through mass flow at initial time of leaching experiment and leaching residual solute by time-consuming process of diffusion.

Conclusion: Although vermicompost can enriched the soil due to increasing nitrate and organic matter contents, it leads to soil salinity and increases sodium contents. Flushing the soil treated by vermicompost

---

1 and 2- Ph.D. and Professor in Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: Zare@basu.ac.ir)
3- Research Scientific in Water Resources Management, Water Research Center, Sultan Qaboos University, Muscat, Oman
DOI: 10.22067/jsw.v34i3.80755

removed the amounts of TDS, sodium, nitrate to 10.4, 76.2 and 44.6 % during 24 hrs. Therefore, leaching had a considerable effect on soil sodium reduction and a little effect on soil salinity reduction. Moreover, in comparison to chemical fertilizers, the high nitrate fraction of applied vermicompost resulted in sustainability of soil fertility. It is expected soil salinity and nitrate leaching fraction of vermicompost will be reduce by managing leaching methods, treating vermicompost before using and reducing fertilizer application rate. Thus, the results of current study warn the farmers who used vermicompost in soil to control the soil salinity, ground water pollution and vertical colloid migration.

Keywords: Colloid leaching, Dissolved organic carbon leaching, Nitrate leaching, Soil hydraulic coefficients, Soil water retention curve